

3. Anufriev I.S., Kopyev E.P., Loboda E.L. Study of flame characteristics during liquid hydrocarbons combustion with steam gasification // Proceedings of SPIE 9292.- 2014.- № 929226.
4. Вигриянов М.С., Алексеенко С.В., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В. Патент РФ на изобретение № 2579298 от 10.04.2016.
5. Lozhkin Yu.A., Markovich D.M., Pakhomov M.A., Terekhov V.I. Investigation of the structure of a polydisperse gas-droplet jet in the initial region. Experiment and numerical simulation // Thermophysics and Aeromechanics. - 2014.- Issue 21, No. 3.- P. 293-307.
6. Van de Hulst H.C. Light Scattering by Small Particles. - New York: Wiley, 1957.- 496 p.
7. Руководство пользователя: Интерферометрический метод измерения диаметров частиц (PI). - Новосибирск, 2013.- 34 с.

Научный руководитель: О.В. Шарыпов, д.ф.-м.н., зам. директора, ИТ СО РАН.

ГОРЕНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА В УСЛОВИЯХ ПАРОВОЙ ГАЗИФИКАЦИИ

С.С. Арсентьев, Е.П. Копьев
Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Предварительные исследования, проведенные на оригинальных горелочных устройствах мощностью 10–50 кВт [1, 2], показали, что горение жидких углеводородов резко интенсифицируется при подаче в зону горения струи перегретого водяного пара ($\sim 400^\circ\text{C}$), сажа в окончательных продуктах сгорания практически отсутствует. Данный способ сжигания [3] может оказаться перспективным для утилизации низкокачественных топлив и опасных промышленных отходов с производством тепловой энергии. Создание горелочных устройств [2, 4], работающих на некондиционных топливах, нуждается в научном обосновании новых технических решений для обеспечения энергоэффективности и экологической безопасности технологии.

В развитие предыдущих исследований [5] предложенного способа сжигания топлива [2], в которых использовалось автономное горелочное устройство с нерегулируемыми параметрами пара, в данной работе используется новое горелочное устройство (10 кВт), оснащенное электрическим парогенератором (средняя потребляемая мощность 1,5 кВт), позволяющим получать поток перегретого пара в широком диапазоне значений расхода и температуры. По принципу работы исследуемая горелка является испарительной. В основе процесса лежит газификация продуктов термического разложения жидкого топлива. Хотя процессы газификации углеводородов (в том числе, паровой) достаточно известны [6-8], тем не менее, обоснование оптимальных методов управления процессом горения жидких органических топлив (и производственных отходов) с

целью обеспечения устойчивого эффективного сгорания при соблюдении экологических норм является сложной и актуальной научной задачей.

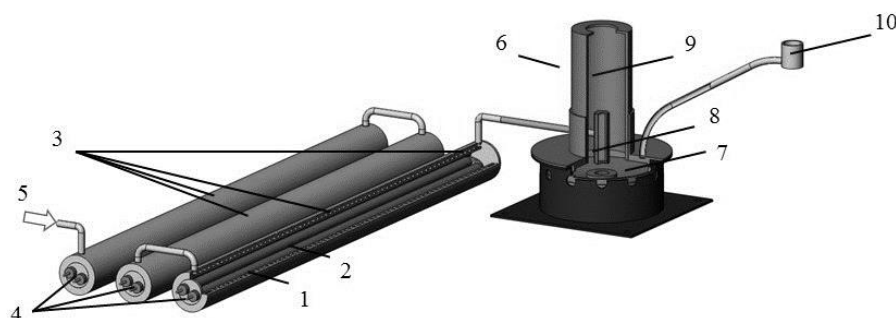


Рис. 1. Схема горелочного устройства и парогенератора: 1 – нагревательное устройство; 2 – тепло электрические нагреватели (ТЭН); 3 – место установки датчиков температуры; 4 – клеммы питания ТЭНов; 5 – подача воды; 6 – горелочное устройство; 7 – топочная камера; 8 – паровая форсунка; 9 – камера газогенерации; 10 – топливоприемник

Основными элементами нового горелочного устройства являются (рис.1): цилиндрический корпус, топочная камера, паровая форсунка и камера газогенерации. В топочной камере имеются отверстия для подсоса воздуха из атмосферы. Топливо в топочную камеру подается через топливопровод. Стабильный расход топлива задается топливной форсункой и насосом и контролируется при помощи электронных весов. Паровая форсунка установлена соосно над топочной камерой у основания камеры газогенерации, и ориентирована вертикально (наружный диаметр 0,5 мм). Паровая форсунка соединена с внешним парогенератором. Массовый расход воды (пара) задается плунжерным дозирующим насосом и контролируется при помощи электронных весов. Температура пара регулируется за счет изменения мощности нагревателей. Давление в парогенераторе регистрируется цифровым датчиком давления. Созданный лабораторный электрический парогенератор позволяет получать перегретый водяной пар в диапазоне температуры 100 – 550 °С и расхода 0.25 – 1.5 кг/ч (давление до 10 атм).

Удельная теплота сгорания топлива (q) определяется по измерениям в проточном калориметре, состоящем из пяти последовательно соединенных секций (общая длина 12 м). Каждая секция состоит из двух коаксиальных стальных труб (толщина стенок 4 мм). Внутренний канал (с диаметром 68 мм) предназначен для потока воздуха и продуктов сгорания, а кольцевой канал (с шириной 10 мм) – для подачи теплоносителя (воды) (см. рис.2).

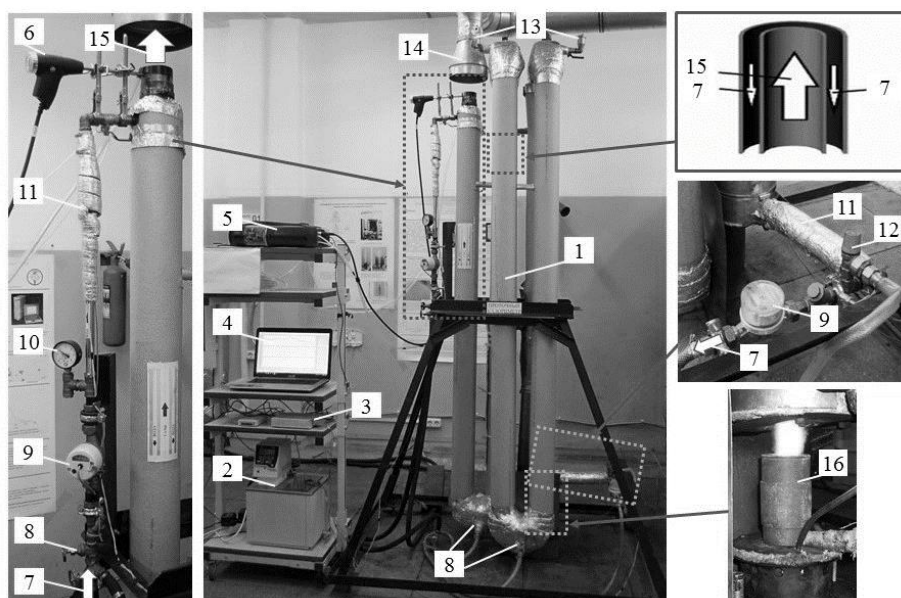


Рис. 2. Фотография проточного калориметра: 1 – проточный калориметр, 2 – термостат, 3 – АЦП, 4 – ноутбук, 5 – блок газоанализатора, 6 – зонд газоанализатора, 7 – направление движения теплоносителя, 8 – запорный кран, 9 – расходомер, 10 – датчик давления, 11 – термопара хромель-алюмелевая, 12 – предохранительный клапан, 13 – воздухоотводчик автоматический, 14 – вентиляция, 15 – направление движения отработанных газов, 16 – горелочное устройство

Измерение выделяемого количества тепла основано на определении разности температуры теплоносителя на входе и выходе, расхода теплоносителя и топлива в стационарных условиях эксперимента [5]. Калориметр оснащен контрольно-измерительными приборами: датчики давления и температуры; расходомер; автоматизированная система сбора и обработки данных на основе АЦП LCard. Факел горелочного устройства вводится во внутренний канал калориметра при равенстве температуры воды на входе и на выходе калориметра. Измерение тепла продуктов сгорания производится после установления стационарного теплового режима в калориметре (характерное время тепловой релаксации составляет ~ 12.5 мин). Методика обеспечивает измерение количества тепла, выделяемого при сгорании топлива с точностью до потерь тепла с уходящими газами, температура которых на 2–4 К выше температуры окружающей среды. Наряду с этим, имеются потери тепла за счет теплоотдачи в окружающую среду от поверхности горелочного устройства, имеющей температуру не выше 100°C . Суммарная оценка этих потерь тепла (в расчете на 1 кг топлива) составляет не более 1.2% от высшей теплотворной способности дизельного топлива. Используемая методика обеспечивает определение значений q с относительной погрешностью $\sim 2.5\%$ [5]. Для контроля состава газообразных продуктов горения (O_2 , CO , NO , NO_2 , SO_2 , CO_2) использовался газоанализатор TESTO 350. Исследования проводились одновременно с калориметрическими измерениями. Забор проб охлажденных до комнатной температуры продуктов реакции осуществлялся на выходе калориметра.

Измерения проводились при различных режимах работы горелочного устройства. При постоянном расходе топлива $F_f = 0.8$ кг/ч величина $\gamma =$

$F_w/(F_w+F_f)$ варьировалась в диапазоне 0.25 – 0.65 (с шагом 0.1), где F_w – средний массовый расход водяного пара. Для каждого значения F_w варьировалась температура пара в диапазоне $T_w = 150 – 550^\circ\text{C}$ (с шагом 100°C). Результаты calorиметрических исследований показаны на рис.3. При различных температурных режимах максимальное значение q соответствует диапазону значений $\gamma = 0.35 – 0.4$ (высшая теплота сгорания дизельного топлива ≈ 46 МДж/кг). Понижение q при $\gamma < 0.35$ может быть связано со снижением вклада в тепловой баланс от подаваемого водяного пара. Также видно, что до значений $\gamma = 0.44$ наблюдается выраженная зависимость тепловыделения от температуры пара.

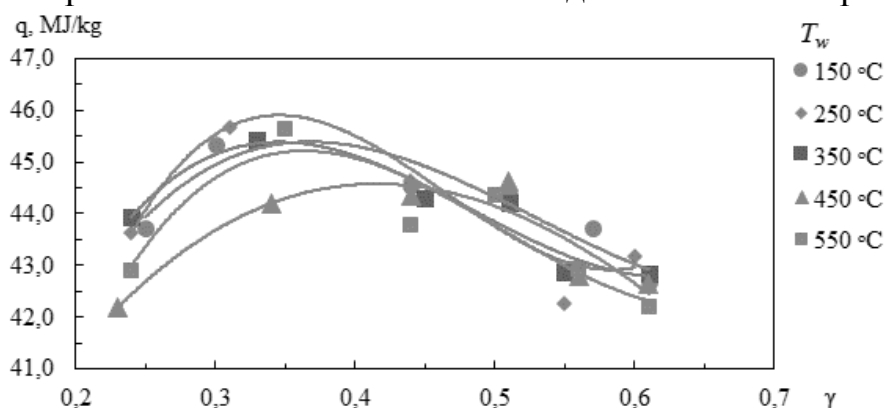


Рис. 3. Количество тепла, полученное от продуктов сгорания в калориметре, в расчете на 1 кг топлива при различных расходах пара

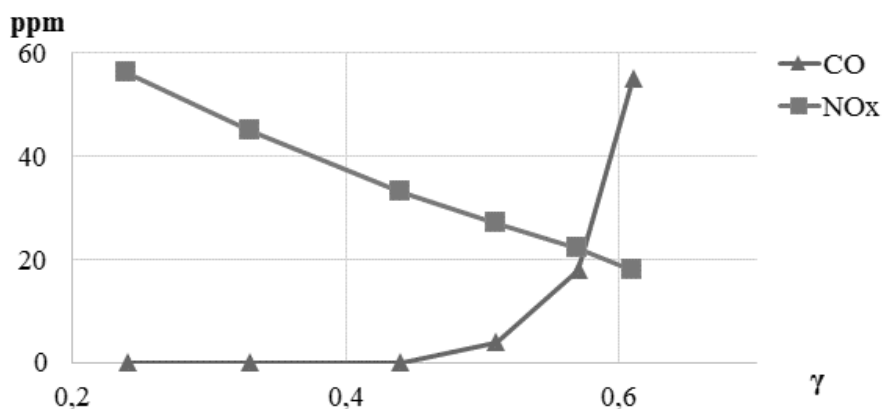


Рис. 4. Концентрации CO и NO_x при различном расходе пара ($T_w = 250^\circ\text{C}$)

Для всех исследуемых режимов измеренное содержание токсичных компонентов (CO и NO_x) в уходящих газах ниже уровня предельно допустимых концентраций (см. рис.4). Однако, при $\gamma > 0.5$, концентрация CO резко возрастает (более, чем в 10 раз). Это можно объяснить неполным сгоранием углерода вследствие понижения температуры в зоне реакции при высоком расходе пара. Этому соответствует уменьшение значения q на рис.3. При $\gamma < 0.35$ значения концентрации CO – ниже порога чувствительности прибора (2 ppm). В пределах погрешности измерений концентрация CO и NO_x не зависит от T_w . Концентрация NO_x понижается с увеличением γ .

Прикладные научные исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (шифр заявки «2017-14-576-0053-1566»)

ЛИТЕРАТУРА:

1. Алексеенко С.В., Ануфриев И.С., Вигриянов М.С., Дулин В.М., Копьев Е.П., Шарыпов О.В. Сажепаровый режим горения жидких углеводородов: распределение скорости в факеле горелки // Теплофизика и аэромеханика. – 2014. – Т. 21, № 3. – С. 411-414.
2. Пат. 2523591 Российская Федерация, 09.04.2013. Горелочное устройство / Вигриянов М.С., Алексеенко С.В., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В.
3. Пат. 2219435 Российская Федерация, 11.02.2002. Способ бесплажного сжигания топлива / Вигриянов М.С., Саломатов В.В., Алексеенко С.В.
4. Пат. 2579298 Российская Федерация, 03.03.2016. Горелочное устройство / Вигриянов М.С., Алексеенко С.В., Ануфриев И.С., Шарыпов О.В.
5. Алексеенко С.В., Ануфриев И.С., Вигриянов М.С., Копьев Е.П., Шарыпов О.В. Характеристики процесса сжигания дизельного топлива в горелочном устройстве с подачей струи перегретого водяного пара // Физика горения и взрыва. 2016. Т.52. № 3
6. Jones J. C. Hydrocarbon Process Safety. – Whittles Publ., 2003.
7. Higman C., Burgt M., van der. Gasification. – 2nd ed. – Gulf Professional Publ., 2008.
8. Liu K., Song Ch., Subramani V. Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies. – Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

INCREASE OF OPERATING EFFICIENCY OF SHIP ELECTRICAL GENERATING PLANT WITH SHAFT GENERATOR

B.A. Avdeyev, A.V. Vyngra
Kerch State Maritime Technological University

Energy efficiency is one of the most important issues for research in shipping and shipbuilding. Shipowners suffer from high energy costs and make efforts to reduce fuel consumption by investing in new vessels and upgrading existing vessels. It is necessary to take into account that a previous analysis of system performance which will lead to successful application and guaranteed economy is required for the implementation of any technological solution [1].

One solution is to use a shaft generator driven by a propeller shaft and serving to supply ship consumers with uninterrupted power supply. Depending on the type of vessel and the power plant, various configurations of ship power plants are used. The use of a generator for supplying of receivers with power when the vessel is underway makes it possible to reduce the number of operating generating sets of the electric power plant and the number of operating hours, significantly reducing herewith the operating costs on fuels and lubricants of individual actuating mechanisms [2,3].

There are three main types of generators: